

Documentos 214

Características climáticas dos municípios de Santo Antônio de Goiás (GO), Porangatu (GO), Janaúba (MG), Sete Lagoas (MG), Parnaíba (PI) e Teresina (PI), Brasil

Alexandre Bryan Heinemann
Silvando Carlos da Silva
Sergio Lopes Junior
André de Oliveira Amorim
Camilo de Lelis Teixeira de Andrade
Edson Alves Bastos
Rosidalva Lopes da Paz

Santo Antônio de Goiás, GO
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão

Rod. GO 462, Km 12

Caixa Postal 179

75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO

Fone: (0xx62) 3533 2100

Fax: (0xx62) 3533 2123

sac@cnpaf.embrapa.br

www.cnpaf.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Luis Fernando Stone*

Secretário: *Luiz Roberto Rocha da Silva*

Supervisor editorial: *André Ribeiro Coutinho*

Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*

Revisão de texto: *Vera Maira T. Silva*

Capa: *Sebastião José de Araújo*

Editoração eletrônica: *Fabiano Severino*

1ª edição

1ª impressão (2007): 500 exemplares

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Características climáticas dos municípios de Santo Antônio de Goiás (GO), Porangatu (GO), Janaúba (MG), Sete Lagoas (MG), Parnaíba (PI) e Teresina (PI), Brasil / Alexandre Bryan Heinemann ... [et al]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2007.

36 p. - (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644 ; 214)

1. Climatologia. I. Heinemann, Alexandre Bryan. II. Embrapa Arroz e Feijão. III. Série.

CDD 630.2515 (21. ed.)

© Embrapa 2007

Autores

Alexandre Bryan Heinemann

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem
Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462, Km 12
75375-000 Santo Antônio de Goiás - GO
alexbh@cnpaf.embrapa.br

Silvando Carlos da Silva

Engenheiro Agrícola, Mestre em Agrometeorologia
Embrapa Arroz e Feijão
silvando@cnpaf.embrapa.br

Sergio Lopes Junior

Assistente A
Embrapa Arroz e Feijão
sergio@cnpaf.embrapa.br

André de Oliveira Amorim

Geógrafo
SECTEC SECTEC/SIMEGO
amorim_go@yahoo.com.br

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade

Engenheiro Agrícola, Doutor em Irrigação e Drenagem
Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 KM 45 - Sete Lagoas, MG
camilo@cnpms.embrapa.br

Edson Alves Bastos

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem
Embrapa Meio-Norte
Av. Duque de Caxias, 5650
Buenos Aires, Teresina/PI
edson@cpamn.embrapa.br

Rosidalva Lopes da Paz

Física
SECTEC SECTEC/SIMEGO
dalvapaz@yahoo.com.br

Apresentação

O conhecimento das condições climáticas é de extrema importância para a agricultura de sequeiro, pois permite definir estratégias de manejo de cultivos que minimizem os riscos oriundos das alterações na disponibilidade hídrica, de eventos climáticos extremos, como também, a influência do clima na incidência de pragas e doenças. A caracterização do clima de uma certa região consiste em conhecer como os elementos que o compõem variam no espaço e no tempo e como tais elementos afetam o crescimento, a incidência de pragas e doenças e a produtividade das culturas. Como as interações entre as culturas e o clima são complexas, têm sido empregados modelos de simulação do crescimento de culturas para avaliar o comportamento dos cultivos em diferentes condições climáticas. Esses modelos descrevem matematicamente os processos biológicos e físicos envolvidos no crescimento da planta e, normalmente, devem ser calibrados e avaliados antes de serem utilizados de forma prática.

Com a publicação deste documento, no qual são divulgadas informações que caracterizam as condições climáticas dos municípios de Santo Antônio de Goiás-GO, Porangatú-GO, Janaúba-MG, Sete Lagoas-MG, Parnaíba-PI e Teresina-PI a Embrapa Arroz e Feijão tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento da pesquisa e do planejamento agrícola nos Estados de Goiás, Minas Gerais e Piauí.

Beatriz da Silveira Pinheiro
Chefe-Geral da Embrapa Arroz e Feijão

Sumário

Introdução	9
Metodologia	10
Processo de análise de dados climáticos discrepantes	11
<i>Primeira verificação nos arquivos de dados climáticos</i>	<i>11</i>
<i>Criando protocolo para preencher dados nulos</i>	<i>11</i>
Casos Específicos	12
<i>Obtenção da umidade relativa mínima (URmin) por meio das temperaturas máximas e mínimas para preencher blocos maiores que 35 dias:</i>	<i>12</i>
<i>Obtenção da umidade relativa máxima e mínima quando esses dados não estão disponíveis</i>	<i>13</i>
<i>Velocidade do Vento</i>	<i>14</i>
<i>Ajuste dos dados de insolação</i>	<i>14</i>
<i>Cálculo da Radiação Solar</i>	<i>15</i>
<i>Predição dos dados de radiação solar global para preencher blocos de dados nulos maiores que 35 dias</i>	<i>17</i>
<i>Desenvolvimento do modelo de predição da radiação solar</i>	<i>17</i>
<i>Construção do modelo de predição da radiação solar</i>	<i>19</i>
Resultado	20
Conclusões	23
Referências	23
Anexos	
Local: Santo Antônio de Goiás	25
Local: Sete Lagoas	27
Local: Porangatu	29
Local: Janaúba	31
Local: Teresina	33
Local: Parnaíba	35

Características climáticas dos municípios de Santo Antônio de Goiás (GO), Porangatu (GO), Janaúba (MG), Sete Lagoas (MG), Parnaíba (PI) e Teresina (PI), Brasil

Alexandre Bryan Heinemann, Silvando Carlos da Silva, Sergio Lopes Junior, André de Oliveira Amorim, Camilo de Lelis Teixeira de Andrade, Edson Alves Bastos e Rosidalva Lopes da Paz

Introdução

O conhecimento das condições climáticas é de extrema importância para a agricultura de sequeiro, pois permite definir estratégias de manejo de cultivos que minimizem os riscos oriundos das alterações na disponibilidade hídrica, de eventos climáticos extremos, como também a influência do clima na incidência de pragas e doenças. A caracterização do clima de uma certa região consiste em conhecer como os elementos que o compõem variam no espaço e no tempo e como tais elementos afetam o crescimento, a incidência de pragas e doenças e a produtividade das culturas. Como as interações entre as culturas e o clima são complexas, têm sido empregados modelos de simulação do crescimento de culturas para avaliar o comportamento dos cultivos em diferentes condições climáticas. Esses modelos descrevem matematicamente os processos biológicos e físicos envolvidos no crescimento da planta e, normalmente, devem ser calibrados e avaliados antes de serem utilizados de forma prática. Heinemann et al. (2007) utilizaram modelos para determinar os padrões de estresse durante o período de plantio para as culturas de arroz e milho no Estado de Goiás.

Para a utilização prática dos modelos de crescimento, há necessidade de se dispor de um conjunto de dados climáticos compostos por informações de temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar, precipitação pluvial, umidade relativa máxima e mínima do ar e velocidade de vento. A maior dificuldade para a utilização desse tipo de dado está no número limitado de anos da série histórica de observações meteorológicas, especialmente em regiões onde a agricultura é relativamente recente, como o Estado de Goiás, e na qualidade dos dados que podem apresentar valores absurdos, inconsistentes e muitas vezes interrupções na coleta.

O intuito deste estudo é ilustrar a metodologia utilizada para a organização, análise de qualidade, predição e correção de valores de dados climáticos erráticos de seis municípios brasileiros para uso posterior com um modelo de crescimento de culturas.

Metodologia

Na Tabela 1 são apresentados os municípios, Estado, coordenadas geográficas, série histórica e fonte dos dados climáticos analisados. Além disto, na Figura 1, são apresentadas, de forma espacial, as localidades estudadas neste trabalho. Todo o conjunto de dados climáticos foram incluídos em uma base de dados, utilizando-se o gerenciador de banco de dados MySQL (WIDENIUS; AXMARK, 2002).

Tabela 1. Localidades, Estado, coordenadas geográficas e fonte.

<i>Município</i>	<i>Estado</i>	<i>Latitude (radianos)</i>	<i>Longitude (radianos)</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Fonte</i>
Santo Antônio de Goiás	Goiás	-16,50	-49,30	741	www.cnpaf.embrapa.br
Porangatu	Goiás	-13,43	-49,13	396	www.sectec.go.gov.br
Sete Lagoas	Minas Gerais	-19,46	-44,25	732	www.cnpms.embrapa.br
Janaúba	Minas Gerais	-15,80	-43,30	533	www.cnpms.embrapa.br
Teresina	Piauí	-5,08	-42,80	72	www.cpamn.embrapa.br
Parnaíba	Piauí	-2,90	-41,77	47	www.cpamn.embrapa.br

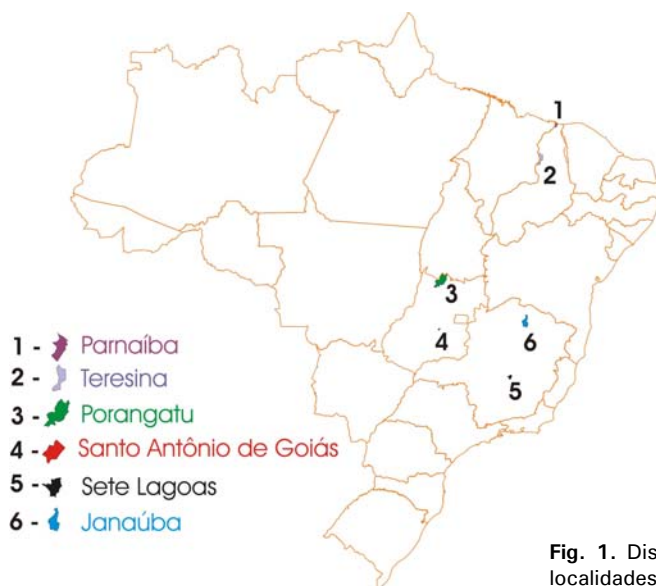


Fig. 1. Distribuição espacial das localidades estudadas.

Processo de análise de dados climáticos discrepantes

Primeira verificação nos arquivos de dados climáticos

A primeira verificação no conjunto de dados climáticos foi realizada utilizando-se o Sistema Gerenciador de Banco de dados MySQL. Consultas foram realizadas para a verificação de erros básicos no conjunto de dados climáticos, como temperatura mínima maior que temperatura máxima, umidade relativa maior que 100%, valores negativos para precipitação e insolação. Todos os dados discrepantes encontrados foram substituídos por -99, significando dado nulo. O mesmo tipo de marcador foi empregado para os dias em que, por alguma razão, a verificação desses dados não foi realizada.

Criando protocolo para preencher dados nulos

Para o preenchimento de um ou dois dias seguidos com dados nulos (-99), utilizou-se a média de sete dias anteriores ou posteriores. Esse critério foi aplicado para temperaturas máxima, mínima, insolação, velocidade do vento e umidade relativa máxima e mínima.

Para blocos seqüenciais de dados nulos (máximo de 35 dias), foi utilizado o processo descrito em LADSS (2007). Este procedimento consiste em substituir um bloco de dados nulos (seqüencial) por um bloco de dados completos provenientes de um outro ano. Esses blocos não devem exceder 35 dias durante o período de semeadura e desenvolvimento da cultura para um determinado local. O critério para a escolha do ano que fornecerá o bloco é explicado a seguir.

Para a substituição dos blocos nulos por completos, o seguinte critério foi utilizado:

a) para estabelecer um critério de seleção de ano, foram pesquisados os valores dos anos para a mesma localização entre os dias X e Y (intervalo de dias nulos); b) contagem do número de dados não nulos nos anos pesquisados; c) ordenamento dos resultados pelo número de dados não nulos por ano; d) escolha do bloco completo do ano que apresentar o menor número de dados nulos.

Esse critério foi aplicado para preencher os dados nulos para as variáveis precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima do ar, insolação, velocidade de vento e umidade relativa máxima e mínima do ar.

Para blocos com dados nulos seqüenciais maiores que 35 dias, foi utilizado o valor médio da série histórica. Nesse estudo, esse critério foi aplicado para as seguintes variáveis: velocidade do vento e umidade relativa máxima.

No conjunto de dados utilizados nesse estudo não foram encontrados blocos seqüenciais de dados nulos maiores que 35 dias para as variáveis precipitação e temperaturas máximas e mínimas. Todos os valores das variáveis climáticas modificadas foram marcados no banco de dados para futura identificação.

Casos Específicos

Obtenção da umidade relativa mínima (URmin) por meio das temperaturas máximas e mínimas para preencher blocos maiores que 35 dias:

Para blocos de dados nulos maiores que 35 dias, a umidade mínima foi estimada empregando-se o procedimento da FAO para dados nulos (ALLEN et al., 1998). Assumiu-se que a temperatura de orvalho (Tdew) é próxima da temperatura mínima (Tdew = Tmin).

As seguintes equações foram utilizadas:

$$e^{\circ} (T_{min}) = e (dew) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27 * T_{min}}{T_{min} + 237,3} \right] \quad \text{eq. (1)}$$

$$e^{\circ} (T_{min}) = e (dew) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27 * T_{max}}{T_{min} + 237,3} \right] \quad \text{eq. (2)}$$

$$UR_{min} = \frac{e^{\circ} (T_{min})}{e^{\circ} (T_{max})} \times 100 \quad \text{eq. (3)}$$

sendo:

T_{dew} – temperatura de orvalho (°C);

e° – pressão de saturação de vapor (kPa);

T_{max} – temperatura máxima diária (°C);

T_{min} – temperatura mínima diária (°C); e

UR_{min} – umidade relativa mínima (%)

Obtenção da umidade relativa máxima e mínima quando esses dados não estão disponíveis

Para a localidade de Parnaíba, o conjunto de dados climáticos não possui informações de umidade relativa máxima e mínima do ar. As temperaturas diárias do ponto de orvalho (T_{dew}) para os anos de 92, 93, 98, 99, 2000 e 2001 foram obtidas na internet (ESTADOS UNIDOS, 2007). Essa temperatura diária do ponto de orvalho é derivada de imagens de satélite. As seguintes equações foram utilizadas para o cálculo da umidade relativa máxima e mínima:

$$e^{\circ} (T_{dw}) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27 * T_{dw}}{T_{dw} + 237,3} \right] \quad \text{eq. (4)}$$

$$UR_{max} = \frac{e^{\circ} (T_{dw})}{e^{\circ} (T_{min})} \times 100 \quad \text{eq. (5)}$$

$$UR_{min} = \frac{e^{\circ} (T_{dw})}{e^{\circ} (T_{max})} \times 100 \quad \text{eq. (6)}$$

sendo:

e^0 – pressão de saturação de vapor (kPa)

T_{dw} – temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$);

T_{max} – temperatura máxima diária ($^{\circ}\text{C}$);

T_{min} – temperatura mínima diária ($^{\circ}\text{C}$);

UR_{max} – umidade relativa máxima (%);

UR_{min} – umidade relativa mínima (%).

Velocidade do Vento

Para a localidade de Porangatu, o conjunto de dados climáticos não continha a variável velocidade do vento. Assim, as informações foram obtidos na internet (ESTADOS UNIDOS, 2007). Esses dados foram derivados de imagem de satélite, para a altura de 10 m acima da superfície do solo, utilizando-se o coeficiente de rugosidade de 0,37 para o mês de janeiro. Entretanto, somente para o ano de 1998 os dados diários de velocidade de vento estavam disponíveis. Diante disto, esses valores foram extrapolados para os anos de 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 e 2005 e ajustados para a altura de 2 m, aplicando-se o fator de 0,74. Esse fator foi obtido pela seguinte equação:

$$f = \left[\frac{4,87}{\ln(67,8z-5,42)} \right] \quad \text{eq. (7)}$$

sendo:

f – fator para ajuste da velocidade do vento;

z – altura acima do solo na qual os valores dos dados de velocidade do vento foram originalmente obtidos (m);

Radiação Solar

Ajuste dos dados de insolação:

Neste estudo, os dados diários de radiação solar estavam disponíveis somente para a localidade de Porangatu. Para as outras localidades, somente os dados diários de insolação estavam disponíveis. O processo de substituição dos dados nulos de insolação, quando eles forem de um, dois ou blocos menores que 35 dias estão detalhados no item 2.1.b (Criando protocolo para preencher dados nulos). Após esse processo já descrito, um ajuste na insolação foi realizado, assumindo-se que o valor máximo de radiação solar, para um determinado dia e local, seja igual a 75% do valor da radiação solar no topo da atmosfera em um dia claro (sem nuvens). As razões para tal ajuste são: a) a não disponibilidade da constante de regressão (a_s), que expressa a fração da radiação no topo da atmosfera que alcança a superfície da

terra em dias nublados ($n = 0$) para cada localidade e b) na maioria das localidades o instrumento utilizado para medir a insolação é o heliógrafo. Esse instrumento registra a duração da insolação e fornece uma medida quantitativa dela por meio da ação de raios solares sob um diagrama (fita heliográfica).

Para as cinco localidades (Santo Antônio de Goiás; Sete Lagoas; Janaúba; Teresina e Parnaíba), os valores máximos da razão entre a radiação global no topo da atmosfera e a radiação solar observada (derivada da insolação) estavam abaixo de 0,75. A Figura 2 ilustra um exemplo de ajuste nos dados de insolação para a localidade de Sete Lagoas, devido à mudança do técnico responsável pela leitura. A primeira seta (Figura 2a) indica valores nulos para o ano de 1974, e a segunda seta aponta o início do período de observações menores da insolação a partir de 1989. Um fator de ajuste de 0,4 (ver equação 8) foi aplicado aos valores de insolação a partir do ano de 1989 para realizar a correção, como ilustra a Figura 2b.

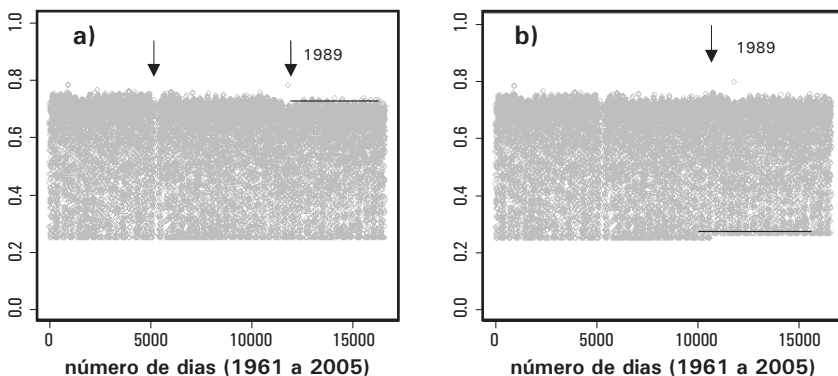


Fig. 2. Razão entre a radiação solar diária observada estimada por meio da insolação e a no topo da atmosfera, (a) com a primeira seta indicando os valores nulos para o ano de 1974, e a segunda seta apontando para o início do período em que as observações foram subestimadas e (b) ilustra os mesmos valores após a correção dos valores subestimados a partir do ano de 1989.

Cálculo da Radiação Solar

Para cada localidade e ano dos conjunto de dados climáticos disponíveis, os valores de radiação solar global foram derivados da insolação utilizando-se a equação de Angström (1924):

$$R_s = \left(a_s + b_s * \left(\frac{s + n}{N} \right) \right) * R_a \quad \text{eq. (8)}$$

sendo:

R_s – radiação solar global (MJ/m^2 dia);

n – insolação (horas);

s – fator de ajuste para insolação (explicado no item 2.2.d.1);

N – comprimento máximo do dia (horas);

R_a – radiação no topo da atmosfera (MJ/m^2 dia);

a_s – constante de regressão, expressando a fração da radiação no topo da atmosfera que alcança a superfície da terra em dias nublados ($n=0$);

$a_s + b_s$ – a fração da radiação no topo da atmosfera que alcança a superfície da terra em dias claros ($n = N$)

Nesse estudo, a_s e b_s foram considerados como 0,25 e 0,50.

Predição dos dados de radiação solar global para preencher blocos de dados nulos maiores que 35 dias

Para preencher os blocos de dados nulos maiores que 35 dias, foi utilizado o método de regressão. Neste estudo, o método de regressão utilizado foi o “Partial Least Square” (PLS). Esse método estende a regressão linear múltipla sem impor restrições empregadas nas análises discriminantes, regressão dos principais componentes e correlações canônicas. Na regressão PLS, funções de predição são representadas por fatores extraídos da matriz $Y'XX'Y$. Essa técnica é muito utilizada quando o número de descritores (variável independente) é igual ou maior que o número de componentes (dados observados) e/ou, ou existem outros fatores que levam a correlação entre os descritores. Nesse caso, a utilização de simples regressões múltiplas é irreal. Por outro lado, a utilização da PLS conduz à obtenção de modelos de alta predição e estabilidade, mesmo havendo correlações entre os descritores. Maiores informações sobre essa técnica podem ser encontrados em Durand (2000, 2001).

Desenvolvimento do modelo de predição da radiação solar

Para as localidades nas quais foi necessário preencher os dados nulos de radiação solar global, dez anos do conjunto de dados climáticos foram selecionados, sendo cinco anos utilizados para o desenvolvimento do modelo e cinco anos para a validação do modelo. Como critério de seleção para os anos utilizados, eles devem ter no máximo 3% de dados nulos para as variáveis temperatura máxima e mínima do ar e precipitação pluvial.

Seleção das variáveis a serem utilizadas no modelo de predição da radiação solar

Os dados climáticos utilizados neste exemplo foram obtidos do conjunto de dados de Santo Antônio de Goiás. As variáveis climáticas diárias disponíveis foram a precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar no topo da atmosfera e amplitude térmica (temperatura máxima menos temperatura mínima). Para selecionar as variáveis que fizeram parte do modelo, utilizaram-se os seguintes procedimentos:

- Correlação - Plotar a variável explicativa ou dependente (radiação solar global observada, R_a , obtida por meio da insolação) contra as variáveis independentes. A Figura 3 ilustra as correlações.
- Modelo de árvores binomiais – Esse modelo destaca as variáveis mais importantes no sistema, suas interações, capturando os efeitos não linear, e a complexidade da resposta da variável explicativa é demonstrada em uma maneira plana (CRAWLEY, 2005). A Figura 4 ilustra a resposta do modelo.

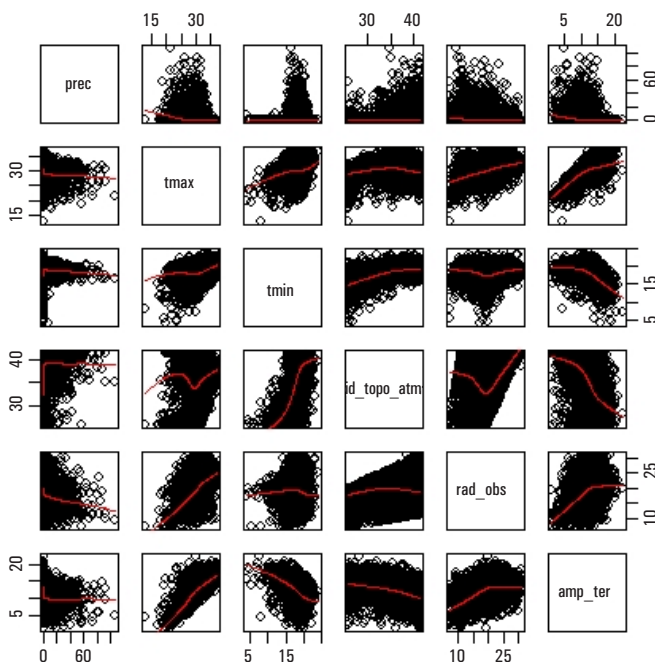


Fig. 3. Correlação e tendência entre a variável explicatória radiação solar global (rad_obs) e as variáveis independentes precipitação pluvial (prec), temperatura máxima e mínima (tmax e tmin), radiação solar no topo da atmosfera (rad_topo_atm) e amplitude da temperatura (amp_ter).

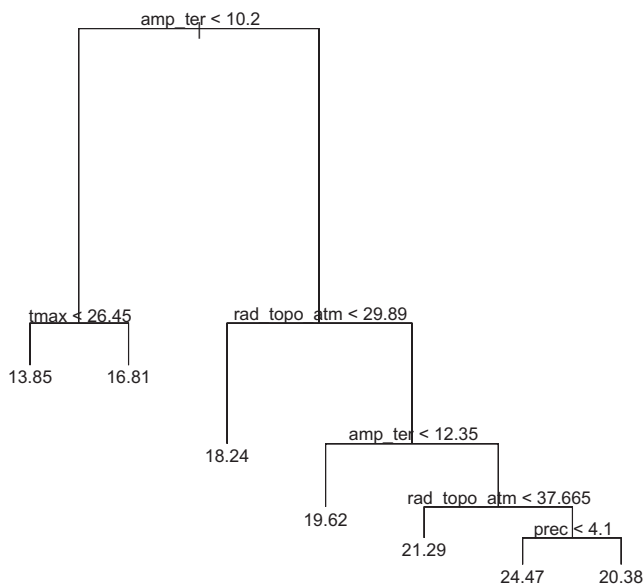


Fig. 4. Resposta do modelo de árvore ilustrando a variável independente mais importante (amplitude da temperatura - *amp_ter*), seguida da temperatura máxima (*tmax*), radiação solar no topo da atmosfera (*rad_topo_atm*) e precipitação (*prec*).

Em função das informações obtidas nas análises de correlação e modelo de árvores, as variáveis selecionadas para serem incluídas no modelo de predição da radiação solar global foram: precipitação pluvial, temperatura máxima do ar, radiação global no topo da atmosfera e amplitude da térmica.

Para ter certeza das correlações entre a variável dependente (radiação solar) e as independentes selecionadas para compor o modelo, aplicou-se o modelo não paramétrico aditivo generalizado (MGA). A Figura 5 ilustra o intervalo de confiança, como também a curvatura da variável dependente e das independentes.

Por meio da Figura 5, observa-se que os intervalos de confiança são suficientemente estreitos para sugerir que a curvatura da relação entre as variáveis independentes selecionadas para compor o modelo é próxima.

Entretanto, a relação entre a curvatura da variável dependente (radiação solar) e precipitação acima de 20 mm é questionável.

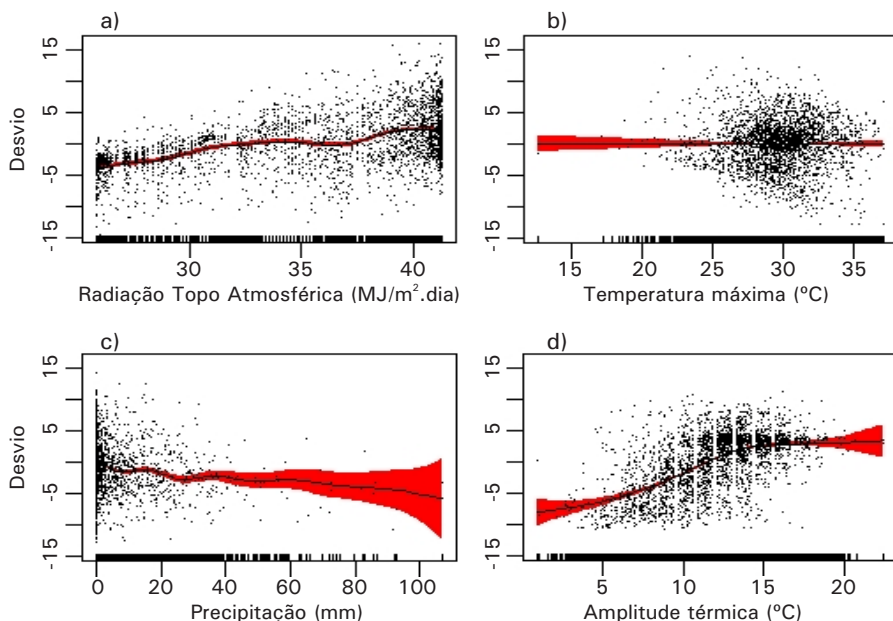


Fig. 5. Desvio do intervalo de confiança para as correlações entre a radiação solar (*rad_obs*) e a) radiação solar no topo da atmosfera (*rad_topo_atm*), b) temperatura máxima (*tmax*), c) precipitação e d) amplitude da temperatura (*amp_ter*). Pontos negros indicam a dispersão dos resíduos.

Construção do modelo de predição da radiação solar

O modelo foi construído numa superfície de resposta quadrática. As variáveis de entrada foram a precipitação pluvial, radiação solar no topo da atmosfera, amplitude térmica e temperatura máxima do ar. Utilizaram-se os termos (variáveis de entrada) como linear, quadrático e o produto entre os mesmos, seguindo a metodologia utilizada por Ball et al. (2004).

A equação 9 descreve o modelo.

$$Rs = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \dots + \beta_{18} X_{18} \quad (\text{eq. 9})$$

sendo,

R_s – Radiação solar estimada (MJ/m^2 dia);

b_0 - intercepto;

b_1 to b_{18} - coeficientes para as variáveis; e

X_1 to X_{18} - variáveis.

Resultado

Como resultado, é apresentado um estudo de caso que ilustra o desenvolvimento e validação do modelo de predição da radiação global para o município de Sete Lagoas, MG.

Nesse caso, o objetivo foi utilizar o modelo de predição da radiação solar observada para substituir 224 dias seguidos que possuem dados de radiação solar nulos para o ano de 1974 (Figura 2).

Para essa localidade, a equação de Angstrons (eq. 8), com o fator de ajuste da insolação (0,40), foi aplicado para os anos de 1989 a 2005 para a obtenção da radiação solar observada. Como explicado anteriormente (item 2.2.d.4), para esta localidade, foram selecionados os anos 1984, 1988, 1993, 1999 e 2001.

Para execução do método de regressão PLS, foi empregado o programa desenvolvido por Durand (2000) para ser utilizado com o *software* estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007).

O método de regressão PLS, fornece os coeficientes de regressão das variáveis independentes em valores absolutos, permitindo verificar quais as variáveis independentes que apresentam o maior peso na predição da radiação solar global. A Figura 6 ilustra os valores absolutos dos coeficientes de regressão para as variáveis independentes. Quanto maior o valor absoluto da variável, maior é a importância dessa variável para explicar a variável dependente (radiação solar global).

A saída do modelo e seus respectivos parâmetros são mostrados na Tabela 2.

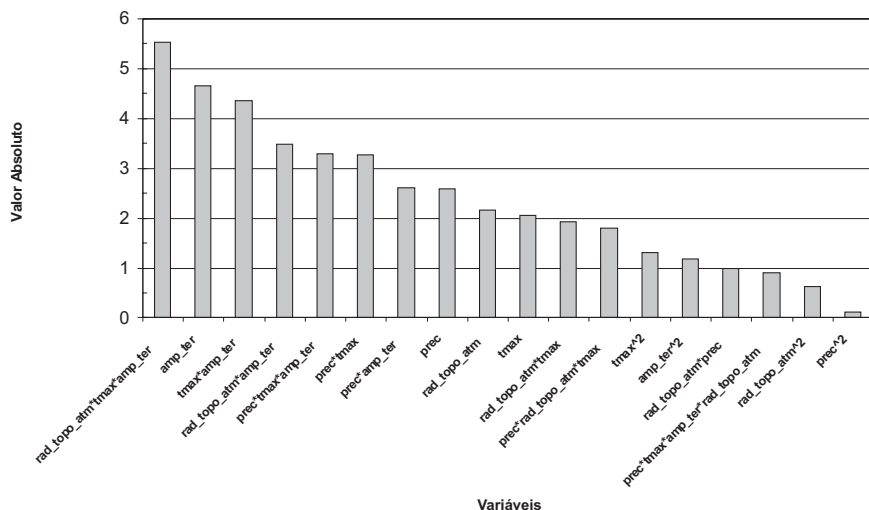


Fig. 6. Importância de cada variável, em valores absolutos, na predição da variável dependente radiação solar global (rad_obs).

Tabela 2. Parâmetros obtidos na análise de regressão PLS para a localidade de Sete Lagoas, MG, de acordo com o modelo descrito no item 2.2.d.5.

<i>Variável</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Modelo</i>
Intercepto	-75,619 (β_0)	β_0
prec (X_1)	0,239 (β_1)	$\beta_1 X_1$
tmax (X_2)	3,361 (β_2)	$\beta_2 X_2$
rad_topo_atm (X_3)	1,697 (β_3)	$\beta_3 X_3$
amp_ter (X_4)	6,903 (β_4)	$\beta_4 X_4$
rad_topo_atm * rain (X_5)	0,011 (β_5)	$\beta_5 X_5$
rad_topo_atm * tmax (X_6)	-0,035 (β_6)	$\beta_6 X_6$
rad_topo_atm * amp_ter (X_7)	-0,150 (β_7)	$\beta_7 X_7$
prec * tmax (X_8)	-0,009 (β_8)	$\beta_8 X_8$
prec * amp_ter (X_9)	-0,137 (β_9)	$\beta_9 X_9$
Tmax * amp_ter (X_{10})	-0,182 (β_{10})	$\beta_{10} X_{10}$
prec^2 (X_{11})	0,0003 (β_{11})	$\beta_{11} X_{11}$
rad_topo_atm^2 (X_{12})	-0,009 (β_{12})	$\beta_{12} X_{12}$
tmax^2 (X_{13})	-0,042 (β_{13})	$\beta_{13} X_{13}$
amp_ter^2 (X_{14})	-0,077 (β_{14})	$\beta_{14} X_{14}$
prec * rad_topo_atm * tmax (X_{15})	0,00010 (β_{15})	$\beta_{15} X_{15}$
rad_topo_atm * tmax * amp_ter (X_{16})	0,006 (β_{16})	$\beta_{16} X_{16}$
prec * tmax * amp_ter (X_{17})	0,005 (β_{17})	$\beta_{17} X_{17}$
prec * tmax * amp_ter * rad_topo_atm (X_{18})	-1,886 e-05 (β_{18})	$\beta_{18} X_{18}$

A tabela 3 mostra o desempenho do modelo nos cinco anos selecionados para o desenvolvimento (1966; 1978; 1994; 1998 e 2001) e validação do modelo (1976, 1991, 1997, 2000 e 2002).

Tabela 3. Desempenho do modelo nas fases de seu desenvolvimento e validação.

Local	Fase	Nº de anos	r	R ²	RMSE	RRMSE	BIAS	MSD	MAE	EF
Sete Lagoas	Desenvolvimento	5	0,85	0,72	2,77	14,44	0,000001	7,68	2,10	0,72
Sete Lagoas	Validação	5	0,83	0,69	2,82	14,60	-0,18	7,99	2,14	0,69

r – correlação; RMSE – Erro do quadrado médio; RRMSE – Erro relativo do quadrado médio; MSD – Desvio médio quadrado; MAE – Erro médio absoluto; EF – Eficiência do modelo

A diferença entre a radiação solar estimada e observada (derivada da insolação) para a fase de validação do modelo é ilustrada pela Figura 7a. Por meio desse gráfico, é possível observar o motivo da BIAS ser negativo e a diferença entre o observado e estimado ser praticamente linear. Para modelos de simulação de crescimento de culturas, a variação diária nos valores da radiação global não é tão importante como a variação mensal. A Figura 7b ilustra a média mensal da radiação solar global estimada e observada. Por meio dessa figura, é possível observar que os valores médios mensais da radiação solar global apresentam a mesma tendência (linha negra a) tracejada – radiação solar estimada e b) sólida – radiação solar observada).

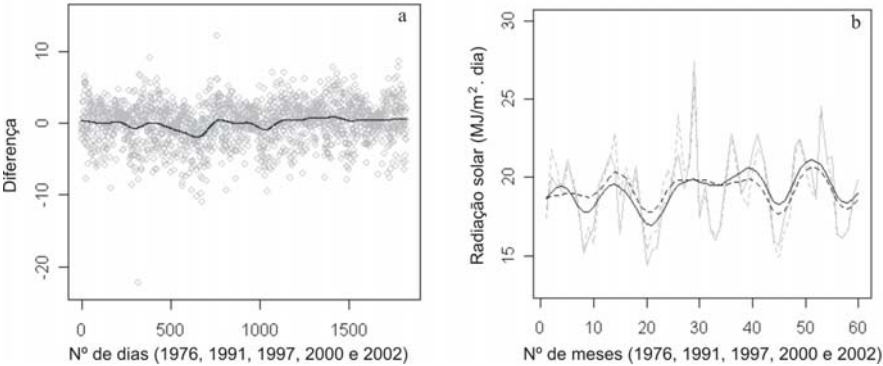


Fig. 7. a) Diferença entre os valores de radiação solar global observados e estimados em função da sequência de dias. A linha negra ilustra a tendência dessa diferença; b) A linha cinza sólida e tracejada indica os valores médios mensais da radiação solar global observada e estimada, respectivamente, em função da sequência de meses. A linha negra ilustra a tendência dos valores médios mensais para a radiação solar estimada (sólida) e radiação solar global observada (tracejada).

Conclusões

Pode-se concluir que por meio da técnica de regressão PLS (Partial Least Square) e utilizando as variáveis climáticas precipitação pluvial, temperatura máxima do ar, radiação global no topo da atmosfera e amplitude da térmica é possível estimar a radiação solar global diária.

Referências

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, London, v. 50, p. 121–125, 1924.
- BALL, R. A.; PURCELL, L. C.; CAREY, S. K. Evaluation of solar prediction models in North America. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 2, p. 391-397, Mar./Apr. 2004.
- CRAWLEY, M. J. **Statistics: an introduction using R**. Chichester: J. Wiley, 2005. 327 p.
- DURAND, J. F. **La régression Partial Least Squares Spline – PLSS: guide d'utilisation sous S-Plus**. Montpellier: ENSAM-INRA. Groupe de Biostatistique et d'Analyses des Systèmes, 2000. (Rapport de Recherche, 00-06).
- DURAND, J. F. Local polynomial additive regression through PLS and splines: PLSS. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v. 58, n. 2, p. 235-246, Oct. 2001.
- ESTADOS UNIDOS. National Aeronautics and Space Administration. **Prediction of worldwide energy resource**. Disponível em: <<http://power.larc.nasa.gov/>>. Acesso em: 10 dez. 2007.
- HEINEMANN, A. B. ; LUQUET, D. ; DINGHUN, M.; COMBRES, J. C. ; CHAPAMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, Wageningen, 2007. doi: 10.1007/s10681-007-9579-z.

LADSS version 2.0 - Climate Data "Cleaning" Process. Disponível em: <http://www.macaulay.ac.uk/LADSS/documents/data_cleaning_process.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Disponível em : <<http://www.R-project.org>>. Acesso em 19 nov. 2007.

WIDENIUS, M.; AXMARK, D. **MySQL reference manual**: documentation from the source. Sebastopol : O'Reilly, 2002. 814 p.

ANEXO

Local: Santo Antônio de Goiás

Tabela 4. Variáveis climáticas, data de início e fim da série histórica, número de dados climáticos observados e estimados para o município de Santo Antônio de Goiás.

	Latitude: -16.50		Longitude: -49.30		Total
	Início	Fim	Observado	Estimado	
Prec	01/01/1983	24/07/2005	8.241	0	8.241
Tmax	01/01/1983	24/07/2005	8.241	0	8.241
Tmin	01/01/1983	24/07/2005	8.241	0	8.241
Vel_vento	01/01/1983	24/07/2005	8.025	216	8.241
URmax	01/01/1997	24/07/2005	2.784	5.457	8.241
URmin	01/01/1997	24/07/2005	2.013	6.228	8.241
Insolação	01/01/1983	24/07/2005	8.049	192	8.241
Radiação	01/01/1983	24/07/2005	— — —	8.241	8.241

Tabela 5. Valores extremos, máximos e mínimos, encontrados na série histórica disponível.

Variável	Máximo	Mínimo	Unidade
Prec	107,1	0	mm
Tmax	37,4	12,6	°C
Tmin	24,2	1,1	°C
Vel_vento	9,02	0,15	m/s
URmax	100	31	%
URmin	97	6	%
Radiação	30,87	7,36	MJ/m ² dia

Tabela 6. Características climáticas para Santo Antônio de Goiás.

Meses	W_D n° dias	Prec mm	Prec DP mm	Tmax °C	Tmax DP °C	Tmin °C	Tmin DP °C	RAD_obs MJ/m ² dia	RAD_DP MJ/m ² dia	Vento m/s	Vento DP m/s	URmax %	URmax DP %	URmin %	URmin DP %
Jan	22	226	85	29,1	2,8	18,5	1,4	19	6	1,4	0,8	85	9	61	16
Fev	19	198	82	29,7	2,4	18,4	1,4	20	6	1,2	0,7	83	9	58	14
Mar	19	236	102	29,5	2,3	18,0	1,5	18	5	1,2	0,5	84	8	57	13
Abr	10	106	59	28,6	2,1	16,3	2,2	19	4	1,1	0,6	84	6	54	11
Mai	3	30	31	27,0	2,2	13,7	2,6	18	3	1,2	0,6	83	6	50	11
Jun	1	9	22	26,2	2,0	11,8	2,5	17	3	1,4	0,7	80	7	45	10
Jul	1	4	11	26,0	2,2	11,5	2,4	18	3	1,6	0,8	76	8	42	11
Ago	1	12	28	27,9	2,7	12,8	2,4	20	3	1,8	0,9	69	9	37	11
Set	7	50	37	29,0	3,2	15,2	2,3	19	5	1,8	0,8	69	13	40	14
Out	12	140	52	29,3	3,3	17,1	2,0	20	5	1,5	0,6	74	13	48	16
Nov	18	209	66	28,7	3,2	17,9	1,9	20	5	1,4	0,6	82	11	57	15
Dez	20	236	84	28,4	2,9	18,3	1,5	18	5	1,4	0,6	85	9	62	15

W_D: dias com precipitação, Prec: precipitação, Tmax: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima, RAD_obs: radiação solar global, Vento: velocidade do vento, URmax: umidade relativa máxima; URmin: umidade relativa mínima e DP: desvio padrão.

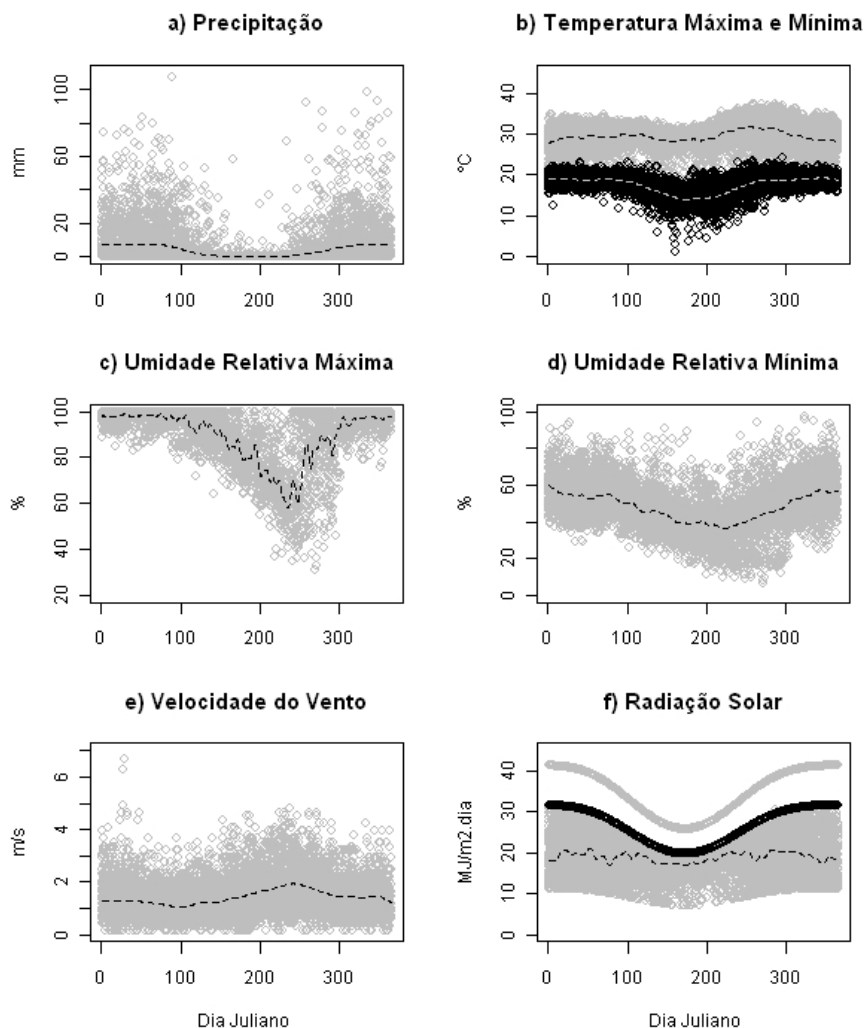


Fig. 8. Características climáticas para Santo Antônio de Goiás, indicando a distribuição diária da precipitação (a) e sua tendência anual (linha tracejada); distribuição diária da temperatura máxima (pontos cinzas) e mínima (pontos negros) (b) e sua tendência anual (linha tracejada); distribuição diária da umidade máxima (c); d) distribuição diária da umidade mínima e sua tendência anual (linha tracejada); e) distribuição diária da velocidade do vento e sua tendência anual (linha tracejada) e f) distribuição diária da radiação solar (pontos cinzas), radiação no topo da atmosfera (média diária, linha cinza) e radiação solar global na superfície terrestre (média diária, linha preta) em função dos números de anos analisados.

Local: Sete Lagoas

Tabela 7. Variáveis climáticas, data de início e fim da série histórica, número de dados climáticos observados e estimados para o município de Sete Lagoas.

	Latitude: -19.46		Longitude: -44.25		Total
	Início	Fim	Observado	Estimado	
Prec	01/01/1960	30/06/2005	16.614	4	16.618
Tmax	01/01/1960	30/06/2005	16.617	1	16.618
Tmin	01/01/1960	30/06/2005	16.616	2	16.618
Vel_vento	01/01/1960	30/06/2005	16.331	676	16.618
URmax	01/01/1960	30/06/2005	16.618	0	16.618
URmin	01/01/1960	30/06/2005	16.617	1	16.618
Insolação	01/01/1960	30/06/2005	16.287	331	16.618
Radiação	01/01/1960	30/06/2005	— — —	16,618	16.618

Tabela 8. Valores extremos, máximos e mínimos, encontrados na série histórica disponível.

Variável	Máximo	Mínimo	Unidade
Prec	147,7	0	mm
Tmax	38,6	15,9	°C
Tmin	23	0,6	°C
Vel_vento	5,9	0,2	m/s
URmax	100	32	%
URmin	96	3	%
Radiação	30,12	6,68	MJ/m ² dia

Tabela 9. Características climáticas para Sete Lagoas.

Meses	W_D n° dias	Prec mm	Prec DP mm	Tmax °C	Tmax DP °C	Tmin °C	Tmin DP °C	RAD_obs MJ/m ² dia	RAD_obs DP MJ/m ² dia	Vento m/s	Vento DP m/s	URmax %	URmax DP %	URmin %	URmin DP %
Jan	18	295	164	29,1	2,8	18,5	1,4	20,5	6,7	1,4	0,7	85,0	9,4	60,9	15,9
Fev	12	176	118	29,7	2,4	18,4	1,4	21,6	6,1	1,4	0,7	83,5	8,6	57,5	14,1
Mar	12	147	97	29,5	2,3	18,0	1,5	19,8	5,3	1,3	0,6	84,3	7,5	57,3	12,6
Abr	6	53	42	28,6	2,1	16,3	2,2	19,0	3,9	1,3	0,6	83,8	6,5	53,9	11,0
Mai	4	26	24	27,0	2,2	13,7	2,6	16,7	3,3	1,2	0,6	82,8	6,4	49,8	11,2
Jun	2	10	15	26,2	2,0	11,8	2,5	16,0	2,3	1,3	0,7	80,5	6,6	45,2	10,4
Jul	2	11	18	26,0	2,2	11,5	2,4	16,8	2,5	1,5	0,7	76,1	7,5	41,7	10,5
Ago	2	10	14	27,9	2,7	12,8	2,4	19,1	3,1	1,7	0,8	68,9	9,2	37,2	10,9
Set	5	40	33	29,0	3,2	15,2	2,3	19,8	4,6	1,9	0,9	68,5	12,5	40,0	14,4
Out	10	102	62	29,3	3,3	17,1	2,0	20,2	6,0	1,8	0,8	74,2	13,3	47,8	15,9
Nov	15	225	96	28,7	3,2	17,9	1,9	20,2	6,4	1,6	0,8	81,8	10,8	56,5	15,4
Dez	19	287	115	28,4	2,9	18,3	1,5	19,5	6,4	1,5	0,8	85,5	9,0	61,7	15,0

W_D: dias com precipitação, Prec: precipitação, Tmax: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima, RAD_obs: radiação solar global, Vento: velocidade do vento, URmax: umidade relativa máxima; URmin: umidade relativa mínima e DP: desvio padrão.

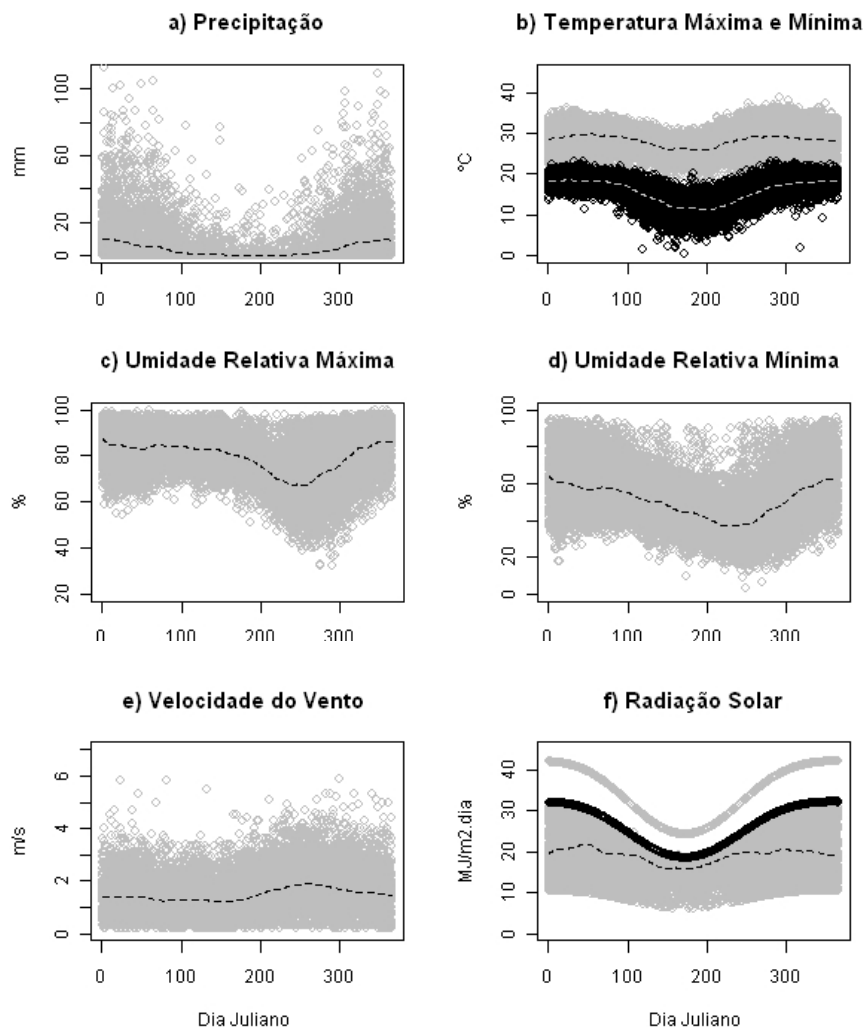


Fig. 9. Características climáticas para Sete Lagoas: a) distribuição diária da precipitação diária e sua tendência anual (linha tracejada); b) distribuição diária da temperatura máxima (pontos cinzas) e mínima (pontos negros) e sua tendência anual (linha tracejada), c) distribuição diária da umidade máxima; d) distribuição diária da umidade mínima e sua tendência anual (linha tracejada); e) distribuição diária da velocidade do vento e sua tendência anual (linha tracejada) e f) distribuição diária da radiação solar (pontos cinzas), radiação no topo da atmosfera (média diária, linha cinza) e radiação solar global na superfície terrestre (média diária, linha preta) em função dos números de anos analisados.

Local: Porangatu

Tabela 10. Variáveis climáticas, data de início e fim da série histórica, número de dados climáticos observados e estimados para o município de Porangatu.

	Latitude: -13.30		Longitude: -49.11		Total
	Início	Fim	Observado	Estimado	
Prec	01/07/1999	6/6/2005	2.164	4	2.168
Tmax	01/07/1999	6/6/2005	2.164	4	2.168
Tmin	01/07/1999	6/6/2005	2.135	33	2.168
Vel_vento	01/07/1999	6/6/2005	— — — —	2.168	2.168
URmax	01/07/1999	6/6/2005	2.165	3	2.168
URmin	01/07/1999	6/6/2005	1.163	5	2.168
Insolação	— — — — —	— — — — —	— — — —	— — — — —	— — —
Radiação	01/07/1999	6/6/2005	2.118	50	2.168

Tabela 11. Valores extremos, máximos e mínimos, encontrados na série histórica disponível.

Variável	Máximo	Mínimo	Unidade
Prec	105	0	mm
Tmax	46	23,5	°C
Tmin	25,5	13,5	°C
Vel_vento	2,66	0,22	m/s
URmax	100	25	%
URmin	99	8	%
Radiação	28,99	1	MJ/m ² dia

Tabela 12. Características climáticas para Porangatu.

Meses	W n° dias	D	Prec mm	Prec DP mm	Tmax °C	Tmax DP °C	Tmin °C	Tmin DP °C	RAD obs MJ/m²	RAD obs DP MJ/m²	Vento m/s	Vento DP m/s	URmax %	URmax DP %	URmin %	URmin DP %
Jan	19	270	148	33,9	2,7	21,5	0,8	16,5	6,0	0,8	0,3	98	3	61	15	
Fev	14	229	109	34,9	2,2	21,3	0,9	18,6	5,4	0,9	0,2	98	3	55	12	
Mar	17	220	90	35,0	1,9	21,3	0,9	18,0	5,2	1,1	0,3	98	3	56	13	
Abr	7	131	74	35,8	1,4	21,2	0,9	19,4	4,7	1,2	0,4	96	4	48	12	
Mai	2	13	17	35,8	1,4	19,8	1,7	18,7	2,8	1,6	0,5	90	6	38	8	
Jun	0	3	6	35,4	1,0	17,7	1,5	18,5	1,7	1,9	0,6	80	7	29	5	
Jul	0	0	0	36,0	1,4	17,9	1,6	19,5	1,6	1,8	0,4	70	10	24	4	
Ago	1	2	3	37,5	1,8	19,1	1,8	21,2	2,6	1,6	0,4	59	11	21	5	
Set	4	40	39	38,1	1,8	20,9	1,7	20,9	4,5	1,6	0,5	67	17	26	12	
Out	9	95	47	37,0	2,3	21,3	1,0	19,7	5,0	1,0	0,3	87	12	38	15	
Nov	15	226	63	35,4	2,7	21,5	0,9	18,3	5,5	0,8	0,3	95	5	52	14	
Dez	18	273	88	34,8	3,1	21,4	0,8	17,6	5,7	0,8	0,2	97	3	57	15	

W: D: dias com precipitação, Prec: precipitação, Tmax: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima, RAD_obs: radiação solar global, Vento: velocidade do vento, URmax: umidade relativa máxima; URmin: umidade relativa mínima e DP: desvio padrão.

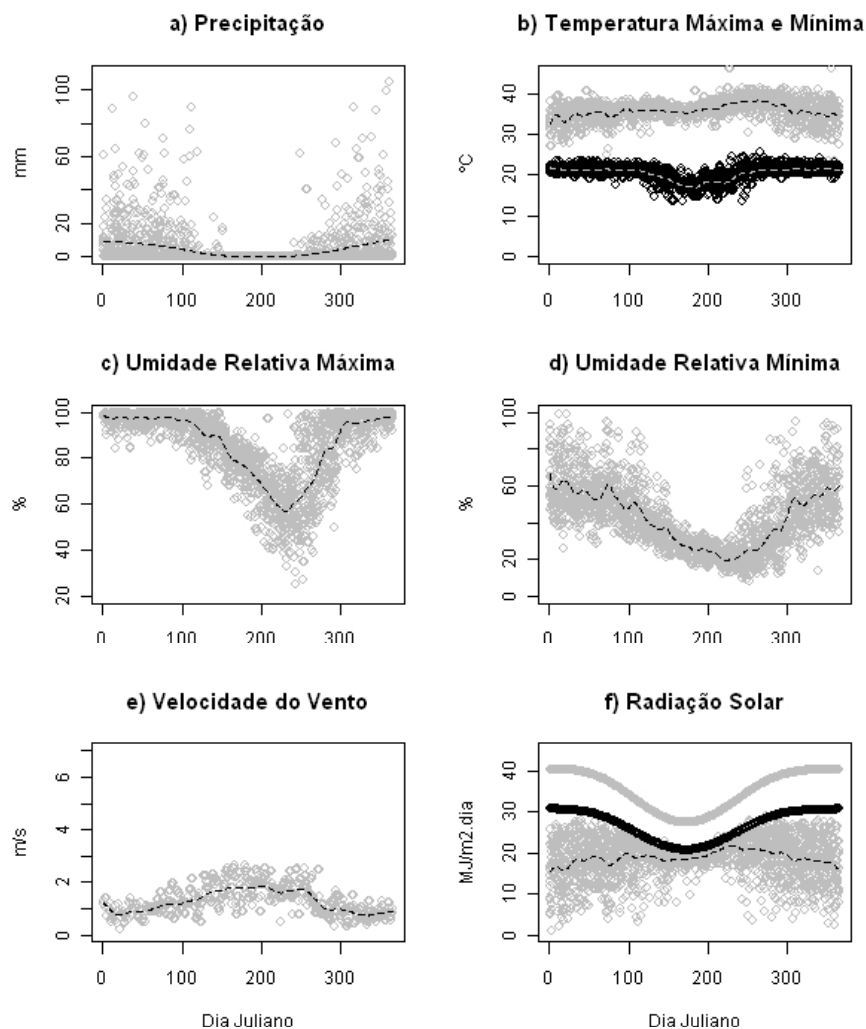


Fig. 10. Características climáticas para Porangatu: a) distribuição diária da precipitação diária e sua tendência anual (linha tracejada); b) distribuição diária da temperatura máxima (pontos cinzas) e mínima (pontos negros) e sua tendência anual (linha tracejada), c) distribuição diária da umidade máxima; d) distribuição diária da umidade mínima e sua tendência anual (linha tracejada); e) distribuição diária da velocidade do vento e sua tendência anual (linha tracejada) e f) distribuição diária da radiação solar (pontos cinzas), radiação no topo da atmosfera (média diária, linha cinza) e radiação solar global na superfície terrestre (média diária, linha preta) em função dos números de anos analisados.

Local: Janaúba

Tabela 13. Variáveis climáticas, data de início e fim da série histórica, número de dados climáticos observados e estimados para o município de Janaúba.

	Latitude: -15.00		Longitude: -44.00		Total
	Início	Fim	Observado	Estimado	
Prec	01/01/1976	31/12/2004	10.448	145	10.593
Tmax	01/01/1976	31/12/2004	10.404	170	10.593
Tmin	01/01/1976	31/12/2004	10.421	172	10.593
Vel_vento	01/01/1976	31/12/2004	10.370	223	10.593
URmax	01/01/1976	31/12/2004	9.126	1.467	10.593
URmin	01/01/1976	31/12/2004	9.100	1.493	10.593
Insolação	01/01/1976	31/12/2004	9.690	903	10.593
Radiação	01/01/1976	31/12/2004	— — — —	10.593	10.593

Tabela 14. Valores extremos, máximos e mínimos, encontrados na série histórica disponível.

Variável	Máximo	Mínimo	Unidade
Prec	105,7	0	mm
Tmax	41	19,9	°C
Tmin	29,8	7,8	°C
Vel_vento	100	25	m/s
URmax	97	18	%
URmin	7,67	0,1	%
Radiação	30,4	7,6	MJ/m ² dia

Tabela 15. Características climáticas para Janaúba.

Meses	W n° dias	D	Prec mm	Prec DP mm	Tmax °C	Tmax DP °C	Tmin °C	Tmin DP °C	RAD obs MJ/m² dia	RAD obs DP MJ/m² dia	Vento m/s	Vento DP m/s	URmax %	URmax DP %	URmin %	URmin DP %
Jan	12	169	136	31,8	3,0	20,6	1,3	22,8	6,0	1,7	0,8	81	12	58	15	
Fev	9	98	100	32,5	2,9	20,6	1,3	23,8	5,3	1,7	0,8	77	12	53	13	
Mar	9	107	100	32,3	2,6	20,4	1,4	21,9	4,9	1,6	0,7	77	12	54	13	
Abr	5	40	40	32,2	2,3	19,3	1,5	20,9	3,5	1,7	0,8	73	11	51	11	
Mai	2	9	14	31,7	2,2	17,4	2,0	19,0	2,7	1,8	0,9	71	9	48	10	
Jun	1	3	8	30,8	1,9	15,4	1,9	17,9	2,2	1,9	0,9	68	9	45	10	
Jul	1	1	3	30,7	2,0	14,9	2,3	18,7	2,1	2,2	1,0	66	8	42	9	
Ago	1	2	4	32,2	2,2	15,6	2,7	21,1	2,7	2,2	1,0	62	9	40	10	
Set	2	12	17	33,6	2,7	18,0	2,5	22,2	3,8	2,2	1,0	61	11	40	12	
Out	7	63	44	34,0	3,3	20,1	1,9	22,9	5,1	2,1	0,9	63	14	44	15	
Nov	13	154	72	31,9	3,7	20,6	1,4	21,0	6,1	1,9	0,9	75	15	54	16	
Dez	14	206	126	31,5	3,4	20,8	1,2	21,5	6,0	1,7	0,8	82	13	59	16	

W_D: dias com precipitação, Prec: precipitação, Tmax: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima, RAD_obs: radiação solar global, Vento: velocidade do vento, URmax: umidade relativa máxima; URmin: umidade relativa mínima e DP: desvio padrão.

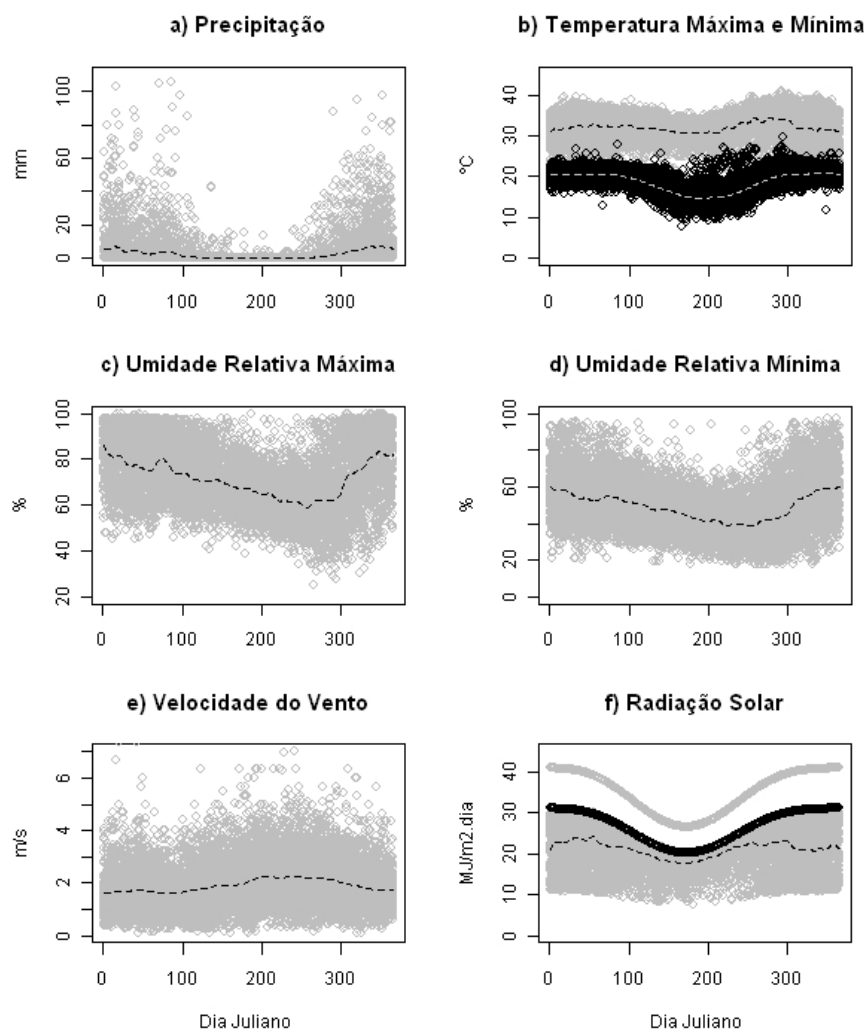


Fig. 11. Características climáticas para Janaúba; a) distribuição diária da precipitação diária e sua tendência anual (linha tracejada); b) distribuição diária da temperatura máxima (pontos cinzas) e mínima (pontos negros) e sua tendência anual (linha tracejada), c) distribuição diária da umidade máxima; d) distribuição diária da umidade mínima e sua tendência anual (linha tracejada); e) distribuição diária da velocidade do vento e sua tendência anual (linha tracejada) e f) distribuição diária da radiação solar (pontos cinzas), radiação no topo da atmosfera (média diária, linha cinza) e radiação solar global na superfície terrestre (média diária, linha preta) em função dos números de anos analisados.

Local: Teresina

Tabela 16. Variáveis climáticas, data de início e fim da série histórica, número de dados climáticos observados e estimados para o município de Teresina.

	Latitude: -5.08		Longitude: -42.80		Total
	Início	Fim	Observado	Estimado	
Prec	1/1/1980	31/12/2004	8.987	145	9.132
Tmax	1/1/1980	31/12/2004	9.106	26	9.132
Tmin	1/1/1980	31/12/2004	8.889	243	9.132
Vel_vento	1/1/1980	31/12/2004	7.486	1.646	9.132
URmax	1/1/1980	31/12/2004	7.293	1.839	9.132
URmin	1/1/1980	31/12/2004	7.119	2.013	9.132
Insolação	1/1/1980	31/12/2004	8.384	748	9.132
Radiação	1/1/1980	31/12/2004	— — — —	9.132	9.132

Tabela 17. Valores extremos, máximos e mínimos, encontrados na série histórica disponível.

Variável	Máximo	Mínimo	Unidade
Prec	134,5	0	mm
Tmax	41	20,9	°C
Tmin	30	15,2	°C
Vel_vento	6,2	0,1	m/s
URmax	100	43	%
URmin	93	19	%
Radiação	28,72	6,09	MJ/m ² dia

Tabela 18. Características climáticas para Teresina.

Meses	W_D n° dias	Prec mm	Prec DP mm	Tmax °C	Tmax DP °C	Tmin °C	Tmin DP °C	RAD_obs MJ/m ² dia	RAD_obs DP MJ/m ² dia	Vento m/s	Vento DP m/s	URmax %	URmax DP %	URmin %	URmin DP %
Jan	13	202	102	32,4	2,2	22,7	1,1	20	5	1,3	0,5	90	7	62	11
Fev	14	233	116	32,0	1,8	22,4	1,1	20	5	1,3	0,5	67	9	38	8
Mar	20	308	112	31,9	1,8	22,5	1,0	20	5	1,3	0,5	72	11	44	10
Abr	16	241	154	32,0	1,3	22,8	0,9	20	4	1,3	0,5	77	12	51	13
Mai	9	86	75	32,2	1,6	22,4	1,1	20	3	1,3	0,5	92	5	64	11
Jun	4	19	20	32,8	1,5	21,4	1,6	21	3	1,5	0,5	93	4	66	10
Jul	2	12	16	33,6	1,5	20,7	1,8	21	2	1,7	0,6	94	3	66	10
Ago	1	9	21	35,4	1,3	20,8	1,8	24	2	1,8	0,6	92	4	61	11
Set	2	17	23	36,5	1,4	22,0	1,5	25	3	1,8	0,6	89	6	53	10
Out	3	19	23	37,0	1,5	22,9	1,3	25	3	1,8	0,6	82	9	46	9
Nov	4	52	44	36,2	2,3	23,2	1,3	23	4	1,6	0,6	73	9	39	7
Dez	8	90	97	35,0	2,5	23,2	1,1	21	5	1,5	0,6	68	9	38	8

W_D: dias com precipitação, Prec: precipitação, Tmax: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima, RAD_obs: radiação solar global, Vento: velocidade do vento, URmax: umidade relativa máxima; URmin: umidade relativa mínima e DP: desvio padrão.

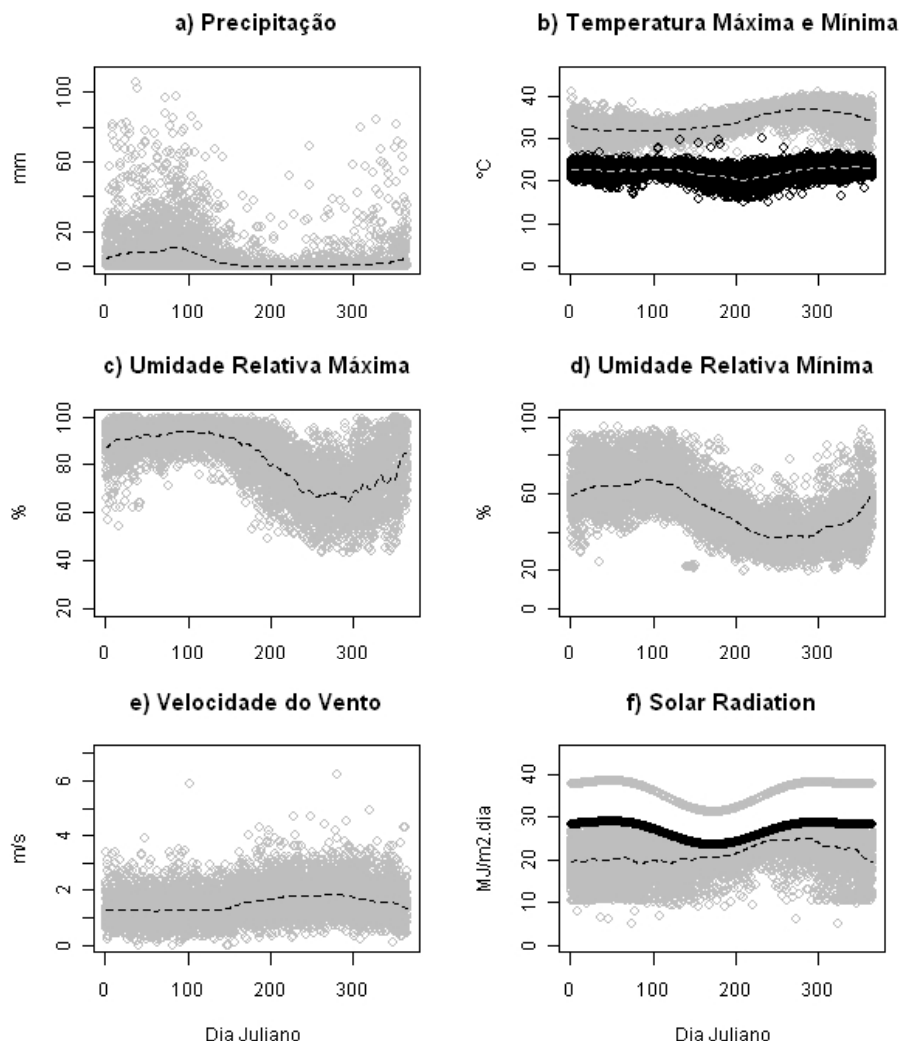


Fig. 12. Características climáticas para Teresina: a) distribuição diária da precipitação diária e sua tendência anual (linha tracejada); b) distribuição diária da temperatura máxima (pontos cinzas) e mínima (pontos negros) e sua tendência anual (linha tracejada); c) distribuição diária da umidade máxima; d) distribuição diária da umidade mínima e sua tendência anual (linha tracejada); e) distribuição diária da velocidade do vento e sua tendência anual (linha tracejada) e f) distribuição diária da radiação solar (pontos cinzas), radiação no topo da atmosfera (média diária, linha cinza) e radiação solar global na superfície terrestre (média diária, linha preta) em função dos números de anos analisados.

Local: Parnaíba

Tabela 19. Variáveis climáticas, data de início e fim da série histórica, número de dados climáticos observados e estimados para o município de Parnaíba.

	Latitude: -3.08		Longitude: -41.76		Total
	Início	Fim	Observado	Estimado	
Prec	1/1/1992	31/12/2004	4.759	0	4.759
Tmax	1/1/1992	31/12/2004	4.749	10	4.759
Tmin	1/1/1992	31/12/2004	4.753	6	4.759
Vel_vento	1/1/1992	31/12/2004	2.566	2.193	4.759
URmax	1/1/1992	31/12/2004	— — —	4.759	4.759
URmin	1/1/1992	31/12/2004	— — —	4.759	4.759
Insolação	1/1/1992	31/12/2004	4.354	405	4.759
Radiação	1/1/1992	31/12/2004	— — —	4.759	4.759

Tabela 20. Valores extremos, máximos e mínimos, encontrados na série histórica disponível.

Variável	Máximo	Mínimo	Unidade
Prec	116,4	0	mm
Tmax	38,2	24,5	°C
Tmin	27,5	17,21	°C
Vel_vento	4,2	0,1	m/s
URmax	100	46	%
URmin	78	21	%
Radiação	28,2	9,0	MJ/m ² dia

Tabela 21. Características climáticas para Parnaíba.

Meses	W_D n° dias	Prec mm	Prec DP mm	Tmax °C	Tmax DP °C	Tmin °C	Tmin DP °C	RAD_obs MJ/m ² dia	RAD_obs DP MJ/m ² dia	Vento m/s	Vento DP m/s	URmax %	URmax DP %	URmin %	URmin DP %
Jan	12	157	117	32,2	1,7	23,3	1,0	19,8	4,9	1,7	0,5	90	7	53	6
Fev	15	176	102	31,4	1,7	23,1	0,9	20,2	4,9	1,4	0,4	66	6	36	4
Mar	18	197	84	30,9	1,4	23,1	0,8	19,3	4,6	1,1	0,3	69	5	38	4
Abr	18	229	128	30,9	1,2	23,1	0,8	19,2	4,1	1,0	0,3	75	8	42	6
Mai	11	128	91	31,4	1,3	22,9	0,9	20,1	3,8	1,0	0,3	93	4	56	4
Jun	7	47	34	31,8	1,5	22,2	1,0	20,4	2,9	1,2	0,3	94	3	59	4
Jul	4	37	27	32,4	1,4	21,7	1,1	21,4	3,0	1,5	0,4	94	3	59	4
Ago	1	4	7	33,6	1,3	22,2	1,2	24,2	1,8	1,9	0,4	91	4	55	5
Set	0	1	3	34,3	1,2	23,2	1,0	25,7	1,2	2,6	0,4	88	6	49	5
Out	0	0	0	34,3	1,2	23,8	1,0	26,0	1,9	2,9	0,4	81	9	43	6
Nov	1	4	8	33,9	1,1	24,1	0,8	24,5	3,0	2,8	0,5	69	7	36	5
Dez	3	28	38	33,6	1,3	24,1	1,1	22,9	4,0	2,6	0,6	69	6	36	4

W_D: dias com precipitação, Prec: precipitação, Tmax: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima, RAD_obs: radiação solar global, Vento: velocidade do vento, URmax: umidade relativa máxima; URmin: umidade relativa mínima e DP: desvio padrão.

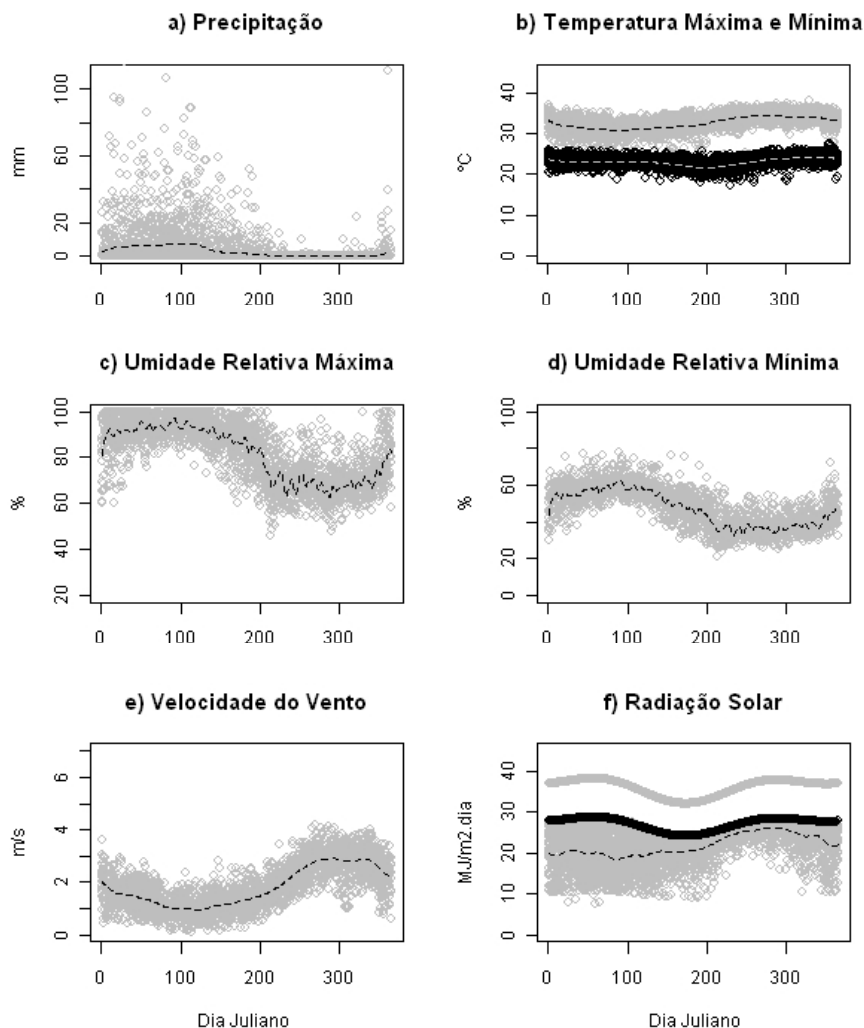


Fig. 13. Características climáticas para Parnaíba: a) distribuição diária da precipitação diária e sua tendência anual (linha tracejada); b) distribuição diária da temperatura máxima (pontos cinzas) e mínima (pontos negros) e sua tendência anual (linha tracejada), c) distribuição diária da umidade máxima; d) distribuição diária da umidade mínima e sua tendência anual (linha tracejada); e) distribuição diária da velocidade do vento e sua tendência anual (linha tracejada) e f) distribuição diária da radiação solar (pontos cinzas), radiação no topo da atmosfera (média diária, linha cinza) e radiação solar global na superfície terrestre (média diária, linha preta) em função dos números de anos analisados.